Terceira Lei de Newton

A terceira lei de Newton afirma que a interação entre dois corpos quaisquer A e B é representada por forças mútuas: uma força que o corpo A exerce sobre o corpo B e uma força que o corpo B exerce sobre o corpo A. Estas forças têm mesmo módulo, mesma direção, mas sentidos contrários.

É usual dizer que as forças relacionadas pela terceira lei de Newton formam um par ação-reação.

Fig.10

Por outro lado, é importante que fique bem claro o seguinte. A interação entre dois corpos origina duas forças de mesma natureza. As forças atuam em corpos diferentes (Fig.10) e, por isso, elas não se cancelam mutuamente. As forças são simultâneas: uma não vem antes nem depois da outra.

Exemplo 1

O peso de um corpo é uma força de natureza gravitacional.

Com base na terceira lei de Newton, podemos dizer que a interação gravitacional entre o corpo e a Terra dá origem a duas forças: a força peso do corpo, **P**, que a Terra exerce sobre o corpo, e a força − **P**, que o corpo exerce sobre a Terra (Fig.11).

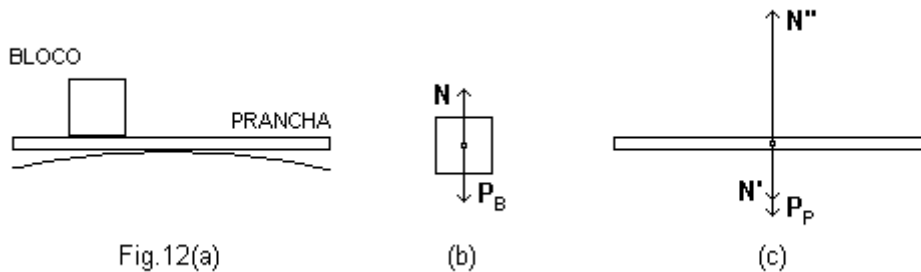
Fig.11

Exemplo 2

Ana e Bia estão boiando juntas nas águas calmas e serenas de um lago. Elas estão imóveis num referencial fixo nas margens do lago. Então, Ana exerce uma força sobre Bia durante certo intervalo de tempo. Em conseqüência, ambas se afastam da região onde estavam inicialmente, com movimentos de mesma direção, mas de sentidos contrários. Pela terceira lei de Newton, se Ana exerce uma força sobre Bia, então Bia também exerce uma força sobre Ana e como as forças têm mesma direção e sentidos contrários, os movimentos produzidos também têm mesma direção e sentidos contrários.

Exemplo 3

Um bloco de madeira, de massa m, está apoiado sobre uma prancha também de madeira, de massa M. A prancha, por sua vez, está apoiada sobre a superfície da Terra (Fig.12(a)).

Fig.12(a) (b) (c)

Para discutir a aplicação da terceira lei de Newton nesse caso, vamos considerar um referencial no qual o bloco, a prancha e a Terra estão em repouso. Além disso, por conveniência, vamos analisar separadamente cada um desses três corpos.

Em primeiro lugar, vamos analisar o bloco.

Sobre o bloco atua a sua força peso $\mathbf{P}_B$, vertical e dirigida para o centro da Terra (Fig.12(b)). Se essa fosse a única força atuando sobre o bloco, ele deveria estar em um MRUV com a mesma direção e o mesmo sentido dessa força. Contudo, ele está em repouso e, justamente por isso, deve existir uma outra força, que cancela a força peso.

Devido ao contato do bloco com a prancha, esta outra força é a força que a prancha exerce sobre o bloco. A força que a prancha exerce sobre o bloco é perpendicular à prancha e é chamada normal (**N**).

Como o bloco está em repouso, a primeira lei de Newton garante que a força peso $\mathbf{P}_B$ e a força normal **N** se concelam mutuamente.

Agora, vamos analisar a prancha.

Sobre a prancha atua a sua força peso $\mathbf{P}_P$ (Fig.12(c)). Pela terceira lei, se a prancha exerce a força **N** sobre o bloco, o bloco exerce uma força **N'** sobre a prancha, de mesmo módulo e mesma direção, mas de sentido contrário. Assim, a prancha está sujeita a uma força **N'** + $\mathbf{P}_P$, vertical e dirigida de cima para baixo. Se essa fosse a resultante das forças que atuam sobre a prancha, ela deveria estar em um MRUV com a mesma direção e o mesmo sentido dessa resultante. Contudo, a prancha está em repouso e, justamente por isso, deve existir outra força atuando sobre ela, que cancela a força **N'** + $\mathbf{P}_P$.

Devido ao contato da prancha com a superfície da Terra, esta outra força é a força que a superfície da Terra exerce sobre a prancha, força essa que é perpendicular à superfície. Essa força é também chamada normal e, para distinguí-la da primeira, vamos usar o símbolo **N"**.

A força **N**, que a prancha exerce sobre o bloco, e a força **N'**, que o bloco exerce sobre a prancha, formam um par ação-reação.

Finalmente, vamos analisar a Terra.

A força peso do bloco, $\mathbf{P}_B$, é a força que a Terra exerce sobre o bloco. Pela terceira lei, o bloco exerce uma força de mesmo módulo e mesma direção, mas de sentido contrário, sobre a Terra. Considerando a Terra como uma esfera, com a massa homogeneamente distribuída, essa força atua no centro da Terra. O par ação-reação correspondente é $\mathbf{P}_B$ e $\mathbf{P'}_B$ (Fig.13).

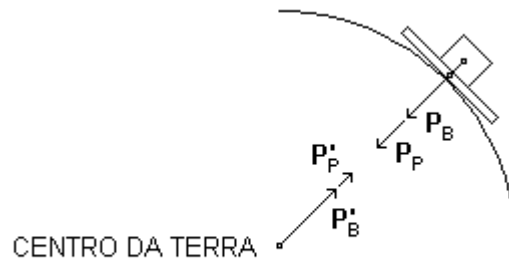



Fig.13

De modo análogo, a prancha exerce uma força sobre a Terra. O par ação-reação correspondente é $\mathbf{P}_P$ e $\mathbf{P'}_P$.

Exemplo 4

Uma mola está suspensa por uma de suas extremidades e em repouso num referencial fixo na mesa (Fig.14(a)). Nessa situação, a mola tem um certo comprimento. Então, um corpo é suspenso na outra extremidade da mola e levado à posição em que permanece em repouso (Fig.14(b)). Nessa outra situação, a mola está esticada, ou seja, o seu comprimento é maior do que antes.

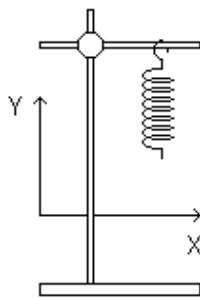
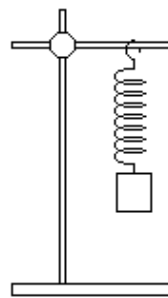
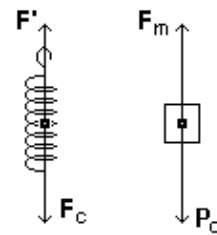



Fig.14(a) (b) (c)

Vamos estabelecer a natureza da força que provoca a elongação da mola. Para simplificar a análise, vamos considerar muito pequena a massa da mola, de modo que podemos ignorar o seu peso. Assim, sobre a mola atuam duas forças, ambas de natureza eletromagnética (Fig.14(c)): a força do suporte, **F'**, e a força do corpo, $\mathbf{F_c}$.

Sobre o corpo atuam duas forças: a força da mola, $\mathbf{F_m}$, de origem eletromagnética, e a força peso, $\mathbf{P_c}$, de origem gravitacional. Como o corpo está em repouso:

$\mathbf{F_m} + \mathbf{P_c} = 0$

ou, em módulo:

$F_m - P_c = 0$

Aqui é interessante lembrar que, ao escrever o módulo da força $\mathbf{F_m}$, antepomos o sinal + porque ela tem o mesmo sentido que o do eixo Y e ao escrever o módulo da força $\mathbf{P_c}$, antepomos o sinal negativo porque ela tem sentido contrário ao do eixo Y.

Da expressão acima obtemos:

$F_m = P_c$

As forças $\mathbf{F_m}$ e $\mathbf{F_c}$ constituem um par ação-reação. Portanto, em módulo:

$F_m = F_c$

Comparando as duas últimas expressões, obtemos:

$P_c = F_c$

A força $\mathbf{P}_c$ atua sobre o corpo. É a sua força peso e tem origem gravitacional. A força $\mathbf{F}_c$ tem origem eletromagnética e é a força que o corpo exerce sobre a mola. Essa força é que causa a elongação da mola. Portanto, a força que causa a elongação da mola não é a força peso do corpo, já que ela atua no corpo. Mas a força que causa a elongação da mola tem o mesmo módulo que a força peso do corpo.

Observações

Aqui cabem duas observações importantes. A primeira observação diz respeito ao modelo vetorial para as forças. Na discussão desenvolvida acima, verificamos que as forças $\mathbf{P}_c$ e $\mathbf{F}_c$, entre outras, têm mesmo módulo, mesma direção e mesmo sentido. Portanto, sob o ponto de vista da Matemática, $\mathbf{P}_c$ e $\mathbf{F}_c$ são vetores idênticos. Contudo, sob o ponto de vista da Física, esses vetores representam forças diferentes. As forças representadas pelos vetores $\mathbf{P}_c$ e $\mathbf{F}_c$ são diferentes porque têm naturezas diferentes, a primeira é de natureza gravitacional e a segunda, de natureza eletromagnética.

A segunda observação diz respeito às forças inerciais. Estas forças só existem em referenciais não inerciais e não podem ser associadas a qualquer interação fundamental. Por isso, não vale, para elas, a terceira lei de Newton.

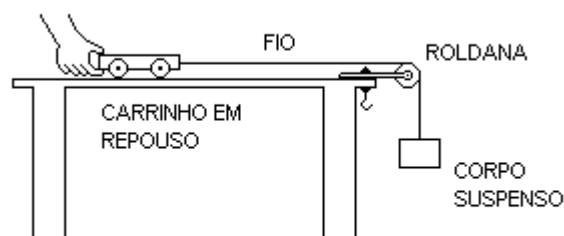



Fig.15

Exemplo 5

Um carrinho e um bloco suspenso estão unidos por um fio que passa por uma roldana (Fig.15).

O fio é inextensível. Ele e a roldana têm massa nula. O carrinho e o bloco estão em repouso num referencial fixo na mesa. O papel da roldana é, por assim dizer, apenas o de curvar o fio.

As forças que agem sobre o carrinho são: o peso $\mathbf{P}_c$, a normal **N**, a força do fio $\mathbf{T}_1$ e a força da mão **F** (Fig.16(a)).

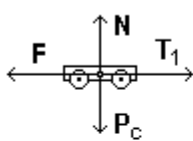
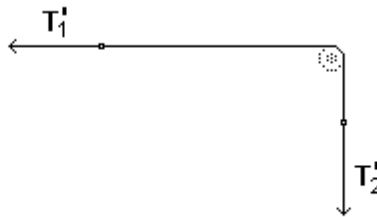
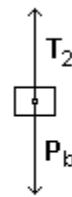



Fig.16(a) (b) (c)

As forças que agem sobre o fio são: a força do carrinho $\mathbf{T'}_1$ e a força do corpo suspenso $\mathbf{T'}_2$ (Fig.16(b)). Essas forças são chamadas forças de tensão ou, simplesmente, tensões.

As forças que agem sobre o bloco suspenso são: o peso $\mathbf{P}_b$ e a força do fio $\mathbf{T}_2$ (Fig.16(c)).

As forças $\mathbf{T}_1$ e $\mathbf{T'}_1$ constituem um par ação-reação e as forças $\mathbf{T'}_2$ e $\mathbf{T}_2$ constituem outro par ação-reação.

Exercício 1

Considerando o exemplo 4 acima, mostre que o módulo de $\mathbf{T}_1$ é igual ao módulo de $\mathbf{T}_2$. Desse modo, a força que o fio exerce sobre o carrinho e a força que o fio exerce sobre o bloco suspenso têm módulos iguais.

Exercício 2

Um corpo se desloca sobre um plano horizontal sem atrito. Num referencial fixo no plano, a velocidade do corpo é constante. Desenhe e identifique as forças que atuam sobre o corpo e suas forças de reação no sentido da terceira lei de Newton.

Exercício 3

Um corpo está colocado sobre um plano inclinado que faz um ângulo de 30^o com a horizontal. Num referencial fixo no plano inclinado, o corpo está em repouso. Desenhe e identifique as forças que atuam sobre o corpo e suas forças de reação no sentido da terceira lei de Newton.

Exercício 4

Duas garotas estão sobre uma pista de patinação horizontal. Num referencial fixo na pista, elas estão em repouso e cada uma segura uma das extremidades de uma corda. Discuta o movimento das duas quando uma delas exerce uma força na corda.